

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
08. August 2019 (08.08.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/149809 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 23/04 (2018.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/052357

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. Januar 2019 (31.01.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 102 412.6
02. Februar 2018 (02.02.2018) DE

(71) Anmelder: GOM GMBH [DE/DE]; Schmitzstrasse 2,
38122 Braunschweig (DE).

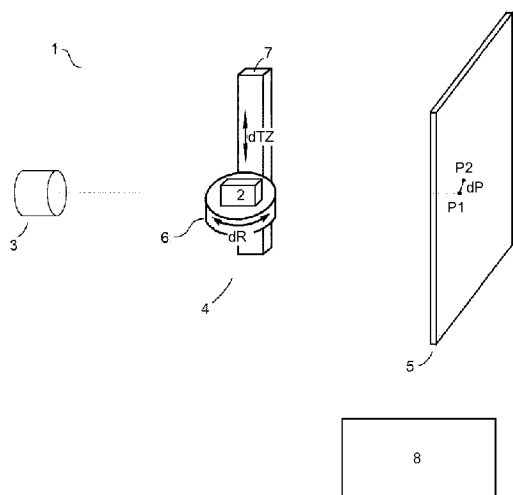
(72) Erfinder: **BRANZ, Lorenz**; Heinrichstraße 9, 38106
Braunschweig (DE). **STAHL, Dominik**; Höhe 24, 38100
Braunschweig (DE). **WINTER, Tim**; Am Bauhop 40,
38533 Vordorf (DE).

(74) Anwalt: **GRAMM, LINS & PARTNER PATENT- UND
RECHTSANWÄLTE PARTGMBB**; Freundallee 13a,
30173 Hannover (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING A MEASUREMENT DEVICE, AND COMPUTER PROGRAM FOR SAME

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR KALIBRIERUNG EINER MESSEINRICHTUNG SOWIE COMPUTERPROGRAMM
HIERZU



Figur 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining calibration parameters of a measurement device (1) for measuring an object (2) with invasive radiation. The measurement device (1) has a radiation source (3), a detector unit (5) and a positioning apparatus (4) for receiving and positioning an object (2) in the beam path between the radiation source (3) and the detector unit (5). The method has the steps: f) placing a calibration object (2, 10) in the beam path between the radiation source (3) and the detector unit (5) with the aid of the positioning apparatus (4); g) recording projection images of the calibration object (2, 10) in at least two different positions; h) determining position values of at least one manipulation axis (6, 7, 9) of the positioning apparatus (4) in at least two of the different positions used in step b); i) determining positions of the projections of at least one calibration feature of the calibration object in at least two of the different positions used in step c); and j) determining calibration parameters with at least one position change of at least one manipulation axis (6, 7, 9) of the positioning device (4) as a benchmark, said position change resulting from the position values for the different positions, and with the associated positions of the projections of at least one calibration feature of the object.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung (1) zur Vermessung eines Objektes (2) mit invasiver Strahlung wird beschrieben. Die Messeinrichtung (1) hat eine Strahlungsquelle (3), eine Detektoreinheit (5) und eine Positionierungsvorrichtung (4) zur Aufnahme und Positionierung eines Objektes (2) im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Detektoreinheit (5). Das Verfahren hat die Schritte: f) Platzieren eines Kalibrierobjekts (2, 10) in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung (4), g) Aufnehmen von Projektionsbildern des Kalibrierobjekts (2, 10) in mindestens zwei voneinander unterschiedlichen Positionierungen, h) Bestimmen von Positionswerten mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) in mindestens zwei der im Schritt b) verwendeten, voneinander unterschiedlichen Positionierungen, i) Bestimmen von Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Kalibrierobjekts in mindestens zwei der im Schritt c) verwendeten, voneinander unterschiedlichen Positionierungen, und j) Bestimmen von Kalibrierparametern mit mindestens einer sich aus den Positionswerten für die voneinander unterschiedlichen Positionierungen ergebende Positionsänderung mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) als Maßstab und mit den zugehörigen Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Objektes.

Verfahren zur Kalibrierung einer Messeinrichtung sowie Computerprogramm hierzu

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren einer Messeinrichtung, die zur Vermessung eines Objektes mit invasiver Strahlung, insbesondere zur computertomografischen Vermessung eines Messobjektes eingerichtet ist, sowie ein Computerprogramm hierzu.

Messeinrichtungen zur computertomografischen Vermessung eines Objektes kommen inzwischen verstärkt im industriellen Umfeld zur Prüfung von Werkstücken zum Einsatz.

Eine typische Messeinrichtung zur computertomografischen Vermessung eines Objektes beinhaltet dabei zumindest eine Strahlungsquelle (Quelle invasiver Strahlung, zum Beispiel eine Röntgenquelle), eine Positionierungsvorrichtung zur Positionierung und Bewegung des Objektes (Manipulationssystem, beispielsweise ein Drehtisch), und eine Detektoreinheit (beispielsweise ein Flat-Panel-Detektor).

Um ein Objekt computertomografisch zu vermessen, wird dieses beispielsweise mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der Detektoreinheit positioniert. Je nach Material und Materialstärke wird die invasive Strahlung der Strahlungsquelle unterschiedlich stark beim Durchdringen des Objektes abgeschwächt. Die Detektoreinheit erfasst Daten, die ein zweidimensionales Abbild des Objektes repräsentieren. Das Objekt wird mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung in eine andere Position gebracht und es werden weitere Daten aufgenommen. Zur Vermessung eines Objektes ist es üblich Daten in bis zu mehreren hundert unterschiedlichen Positionen des Objektes aufzunehmen, beispielsweise indem sich das Objekt auf einem Drehtisch befindet und zwischen den Aufnahmen um einen vorgegebenen Winkel rotiert.

Aus den Abbildungen kann mit Hilfe eines Rekonstruktionsalgorithmus ein Volumendatensatz berechnet werden, der das Objekt dreidimensional beschreibt. In die Berechnung fließen dabei unter anderem auch verschiedene Kalibrierparameter ein.

Kalibrierparameter können beispielsweise geometrische Parameter der Messeinrichtung zur computertomografischen Vermessung sein, wie die Position der Strahlungsquelle, Position und Orientierung der Detektoreinheit und des Manipulationssystems. Die Genauigkeit der Bestimmung der Kalibrierparameter hat dabei Auswirkungen auf die mögliche Genauigkeit des berechneten Volumendatensatzes und damit des 3D-Modells des Objektes.

EP 1 760 457 B1 beschreibt ein Verfahren und eine Anordnung zur Kalibrierung einer Messanordnung, die mittels invasiver Strahlung Bilder von Messobjekten erzeugt, z. B. einer Computertomografie (CT)-Messanordnung. Die invasive Strahlung durchdringt ein Kalibrierobjekt und eine resultierende Strahlung wird von einer Detektionseinrichtung der Messanordnung detektiert, wobei aus Detektionssignalen der Detektionseinrichtung, die der von der Detektionseinrichtung detektierten Strahlung entsprechen, ein Durchstrahlungsbild des Kalibrierobjekts erzeugt wird. Das Kalibrierobjekt weist bekannte Abmessungen auf. Durch Auswertung des zumindest einen Durchstrahlungsbildes werden Geometrieparameter eines geometrischen Modells, das eine Geometrie der Messanordnung beschreibt, bestimmt.

M. Neukamm, M. Schulze, A. Staude: Untersuchung der geometrischen Eigenschaften industrieller CT mit Hilfe eines neuartigen Prüfkörpers und den Methoden der Photogrammetrie, in: Berichtsband zur DGZfP-Jahrestagung 2010, Di.2A.2 beschreibt ein zylindrisches Kalibrierobjekt, das aus einem zylindrischen Trägerobjekt mit eingelassenen Kugeln sowie einer eingelassenen Kugelhantel mit bekanntem Maß als Kalibriermerkmale besteht. Darüber hinaus wird ein Ellipsenoperator zur Berechnung von projizierten Mittelpunkten der Kalibriermerkmale des Kalibrierobjekts in radiometrischen Aufnahmen und außerdem ein Verfahren zum Kalibrieren eines CT-Systems beschrieben. Das Verfahren zum Kalibrieren eines CT-Systems ist derart ausgestaltet, dass das Kalibrierobjekt mit einer Rotationsachse der Messanordnung in verschiedene Positionierungen gebracht wird, an denen jeweils ein Durchstrahlungsbild des Kalibrierobjekts aufgenommen wird, sodass die mit dem Ellipsenoperator bestimmten projizierten Mittelpunkte der Kalibriermerkmale in den Aufnahmen photogrammetrisch mit Hilfe einer Bündelblockausgleichung so ausgewertet werden können, dass unter Einbeziehung des bekannten Maßstabs des Kalibrierobjekts die geometrischen Parameter der Messanordnung bestimmt werden können.

Herkömmliche Verfahren setzen Kalibrierobjekte ein, die eine Mehrzahl von Formmerkmalen aufweisen, zu denen bekannte Abmessungen vorliegen, oder deren Abmessungen zur Durchführung des Verfahrens durch ein Koordinatenmessgerät bestimmt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung zur Vermessung von Objekten mit invasiver

Strahlung und ein Computerprogramm hierzu zu schaffen. Die Messeinrichtung kann insbesondere eine Computertomografie-Messanordnung sein.

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren des Anspruchs 1, sowie durch das
5 Computerprogramm mit den Programmcodemitteln mit den Merkmalen des Anspruchs 9, einer Messeinrichtung nach Anspruch 10 sowie durch das Kalibrierobjekt mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

10 Zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung zur Vermessung eines Objektes mit invasiver Strahlung, insbesondere einer Messeinrichtung zur computertomografischen Vermessung eines Messobjektes, die eine Strahlungsquelle, eine Detektoreinheit und eine Positionierungsvorrichtung hat und wobei die Positionierungsvorrichtung mit Hilfe von mindestens einer Manipulationsachse dazu
15 geeignet ist, ein Objekt im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der Detektoreinheit an unterschiedlichen Positionen zu positionieren, wird ein Verfahren mit den folgenden Schritten vorgeschlagen,

- a) Platzieren eines Kalibrierobjekts in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der Detektoreinheit mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung,
- 20 b) Aufnehmen von Projektionsbildern des Kalibrierobjekts in mindestens zwei voneinander unterschiedlichen Positionierungen des Kalibrierobjekts im Strahlengang,
- c) Bestimmen der Positionswerte mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung in mindestens zwei der im Schritt b) verwendeten
25 voneinander unterschiedlichen Positionierungen,
- d) Bestimmen von Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Kalibrierobjekts in mindestens zwei der im Schritt c) verwendeten, voneinander unterschiedlichen Positionierungen,
- e) Bestimmen von Kalibrierparametern mit mindestens einer sich aus den
30 Positionswerten für die voneinander unterschiedlichen Positionierungen ergebende Positionsänderung mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung als Maßstab und mit den zugehörigen Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Kalibrierobjekts.

35 Erfindungsgemäß werden die relativen Positionsänderungen mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung und die damit verbundenen relativen Positionsänderungen des Objektes zwischen jeweils zwei unterschiedlichen

Positionierungen bestimmt, und damit werden dann Kalibrierparameter unter Einbringung der vorher bestimmten Positionsänderungen von mindestens einer Manipulationsachse bestimmt. Mindestens zwei unterschiedliche Positionierungen unterscheiden sich im Positionswert mindestens einer Manipulationsachse.

5

Durch die Auswertung der relativen Positionsänderungen müssen die Abmessungen des Kalibrierobjektes und seiner Kalibriermerkmale nicht bekannt sein.

10

Zur Durchführung der Bestimmung der Kalibrierparameter der Messeinrichtung wird anstelle eines Messobjektes, das vermessen werden soll, ein Kalibrierobjekt derart zwischen Strahlungsquelle und Detektoreinheit platziert, dass sich mindestens ein Teil des Kalibrierobjektes im Strahlengang von Strahlungsquelle zur Detektoreinheit befindet.

15

Die Platzierung des Kalibrierobjekts erfolgt mit Hilfe einer Positionierungsvorrichtung. Die Positionierungsvorrichtung ist geeignet ein Objekt, insbesondere ein Messobjekt oder ein Kalibrierobjekt, im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der Detektoreinheit zu positionieren.

20

Trifft Strahlung der Strahlungsquelle auf die Detektoreinheit, beispielsweise ein Flat-Panel-Röntgendetektor, so liefert die Detektoreinheit Daten, die als zweidimensionale Bilder ausgewertet werden können. Befindet sich nun das Kalibrierobjekt im Strahlengang zwischen Strahlungsquelle und Detektoreinheit, so liefern die Daten der Detektoreinheit eine zweidimensionale Abbildung einer Projektion des Kalibrierobjektes mit invasiver Strahlung, im Folgenden auch als Projektionsbild bezeichnet.

25

Je nach Material und Materialstärke wird die invasive Strahlung der Strahlungsquelle unterschiedlich stark beim Durchdringen des Kalibrierobjekts abgeschwächt. Dadurch können im Projektionsbild auch sich im Inneren des Kalibrierobjekts befindliche Merkmale abgebildet werden.

30

Ein beispielhaftes Kalibrierobjekt weist mindestens ein Kalibriermerkmal auf. Als Kalibriermerkmal eignen sich dabei Körper unterschiedlicher Formen und Materialien. Das Material des Kalibriermerkmals sollte so gewählt werden, dass sich seine Projektion aufgrund einer stärkeren Abschwächung der invasiven Strahlung im Vergleich zur Abschwächung durch das Material des Kalibrierobjektes im Projektionsbild auswerten lässt. Aufgrund ihrer Geometrie werden zwar häufig kugelförmige Merkmale verwendet, aber auch andere Formen sind denkbar.

35

Für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es notwendig, in mindestens zwei unterschiedlichen Positionierungen Projektionsbilder des Kalibrierobjektes oder von Teilen des Kalibrierobjektes aufzunehmen. Vorteilhaft ist es, wenn mehr als zwei
5 Aufnahmen, insbesondere mehrere Hundert Aufnahmen verwendet werden. Die unterschiedlichen Positionierungen des Kalibrierobjektes werden durch Positionierung des Kalibrierobjektes mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung erzielt.

Bevorzugt ist die Positionierungsvorrichtung dazu geeignet ein Objekt, beispielsweise das
10 Kalibrierobjekt, während einer Positionsänderung mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung, insbesondere aber während einer Vermessung, die aus einer Vielzahl von Aufnahmen von Projektionsbildern besteht, in einer ortsfesten Position relativ zur Positionierungsvorrichtung zu halten. Beispielsweise weist die Positionierungseinrichtung eine Auflagefläche zum Auflegen des Objektes und/oder eine Haltevorrichtung zum
15 Halten des Objektes auf.

Die Positionierungsvorrichtung kann verschiedene Arten von Manipulationsachsen, wie beispielsweise Translationsachsen oder Rotationsachsen, in unterschiedlicher Anzahl aufweisen. Die Positionierungsvorrichtung hat bevorzugt mindestens eine
20 Manipulationsachse als Translationsachse ausgebildet.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Positionierungsvorrichtung mindestens zwei Manipulationsachsen auf, wobei eine der Manipulationsachsen als Translationsachse ausgebildet ist und eine der Manipulationsachsen als Rotationsachse
25 ausgebildet ist. Damit kann die Positionierungsvorrichtung das Objekt sowohl entlang einer Translationsachse verschieben, als auch um eine Drehachse rotieren. In weiteren vorteilhaften Ausführungsformen sind weitere Manipulationsachsen vorhanden, insbesondere weitere Translationsachsen. Beispielsweise kann eine der Translationsachsen dazu dienen, das Objekt in Strahlrichtung zu verschieben und eine
30 weitere Translationsachse ist dafür vorgesehen, das Objekt entlang der Drehachse zu verschieben.

Die Positionierung des Objektes im Strahlengang kann anhand von Positionswerten der Positionierungsvorrichtung beschrieben werden. Die Positionierungsvorrichtung ist dabei
35 derart ausgestaltet, dass Positionswerte mindestens einer Manipulationsachse bestimmbar sind. Anhand der Positionswerte kann somit ein Wert für die relative

Positionsänderung des Objekts beispielsweise während einer Verschiebung entlang einer Translationsachse bestimmt werden.

Durch die Bestimmung des Positionswertes der Manipulationsachse in einer ersten Stellung, dies entspricht einer ersten Vermessungs-Position des Kalibrierobjekts, und der Bestimmung des Positionswertes der Manipulationsachse in einer zweiten Stellung, dies entspricht einer zweiten Vermessungs-Position des Kalibrierobjekts, kann ein Rückschluss auf die relative Positionsänderung zwischen den beiden Vermessungspositionen gezogen werden. Bevorzugt werden Positionswerte einer Translationsachse in zwei Vermessungs-Positionen bestimmt, so dass der erhaltene Differenzwert der Positionswerte ein Größenmaß, beispielsweise eine Längenangabe in mm ergibt.

Die bestimmte relative Positionsänderung der Manipulationsachse liefert einen Maßstab für die Bestimmung der Kalibrierparameter. Die Genauigkeit der Bestimmung der relativen Positionsänderung der Manipulationsachse hat damit direkte Auswirkung auf die Genauigkeit der bestimmten Kalibrierparameter.

Es ist vorteilhaft Translationsachsen einzusetzen, deren Positionswerte über eine Schnittstelle ausgelesen werden können.

Nach der Aufnahme der Projektionsbilder und der Bestimmung der Positionswerte der Manipulationsachsen erfolgt eine Auswertung dadurch, dass in den aufgenommenen Projektionsbildern die Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale bestimmt werden und eine Ausgleichsrechnung zur Bestimmung der Kalibrierparameter ausgeführt wird, die auf Basis der Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale und der Positionswerte der Manipulationsachsen die Kalibrierparameter der Messeinrichtung bestimmt.

Für die Auswertung sind verschiedene Ausführungsformen denkbar. Bevorzugt erfolgt die Auswertung mit einem Computerprogramm mit Programmcodemitteln, wobei die Programmcodemittel zur Bestimmung der Kalibrierparameter in Abhängigkeit von den Ergebnissen einer Vermessung vom mittels der Strahlungsquelle durchstrahlten Kalibrierobjektes und der Bestimmung von Positionswerten mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung eingerichtet sind und die Programmcodemittel auf einer Datenverarbeitungseinheit ausgeführt werden.

Die Kalibriermerkmale können unterschiedliche Formen aufweisen, dementsprechend ist das Verfahren zur Bestimmung der Position der Projektion der Kalibriermerkmale in den Projektionsbildern entsprechend geeignet zu wählen. Gebräuchlich ist es, Kugeln als Kalibriermerkmale einzusetzen. In der Projektion werden die Kugeln in der Regel als Ellipsen abgebildet, deren Position es zu bestimmen gilt. Verfahren zur Bestimmung von Ellipsen-Positionen in einer Abbildung sind bekannt.

Im Folgenden wird ein beispielhaftes und besonders vorteilhaftes Verfahren zur Bestimmung der Position der Projektion von kugelförmigen Kalibriermerkmalen beschrieben.

Es wird angenommen, dass das Kalibrierobjekt mindestens ein kugelförmiges Kalibriermerkmal enthält. Die Position des kugelförmigen Kalibriermerkmals soll in diesem Ausführungsbeispiel durch die Bestimmung des Kugelmittelpunktes erfolgen. Die Projektion des kugelförmigen Kalibriermerkmals stellt sich in Form einer Ellipse dar. Die Position des Kalibriermerkmals kann im Projektionsbild in einem zweidimensionalen Bildkoordinatensystem angegeben werden. Beispielsweise wird dazu der Ursprung eines Bildkoordinatensystems in eine Ecke des Bildes gelegt.

Zur Bestimmung der Position der Projektion des Kugelmittelpunktes werden im Projektionsbild die Ellipsenpositionen bestimmt. Dazu werden Ellipsenparameter, wie zum Beispiel die Position, Radien und Orientierung, für im Projektionsbild abgebildete Ellipsen geschätzt. Im Folgenden seien diese ersten geschätzten Ellipsenparameter als Startwerte bezeichnet. Die geschätzten Ellipsenparameter dienen als Grundlage um Ellipsen für ein geschätztes Ellipsenmodell rechnerisch zu modellieren, diese modellierte Ellipse sei auch als Modell-Ellipse bezeichnet. Mit Hilfe einer Differenzfunktion wird aus dem geschätzten Ellipsenmodell und dem zugehörigen aufgenommenen Projektionsbild (gemessene Ellipse) eine Differenz bestimmt. Dabei kann die Analyse auch nur Teilbereiche umfassen. Im Fall, dass Modell-Ellipse und gemessene Ellipse übereinstimmen, wäre die Differenz gleich Null. Da die anfänglichen Startwerte für die Ellipsen ungenau ausfallen können, ist es unwahrscheinlich, dass dieser Fall sofort eintritt. Daher werden in einem Iterationsverfahren die Ellipsenparameter solange variiert, bis die sich bildenden Differenzen minimiert sind.

Die Bestimmung der projizierten Position des Kalibriermerkmals, in diesem Beispiel des Kugelmittelpunktes, erfolgt für mindestens zwei, bevorzugt für alle aufgenommenen Projektionsbilder und für mindestens eine, bevorzugt für alle darin abgebildeten Ellipsen.

Die bestimmten Positionen der Projektionen der Kugelmittelpunkte fließen in die anschließende Ausgleichsrechnung ein.

Unabhängig davon mit welcher Methode die Positionen der Projektionen von mindestens
5 einem Kalibriermerkmal in den Projektionsbildern erfolgt ist, ist es im erfindungsgemäßen
Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung zur
Vermessung eines Objektes mit invasiver Strahlung vorgesehen, die Bestimmung der
Kalibrierparameter unter Einbringung der bei der Aufnahme von Projektionsbildern
bestimmten Positionswerte mindestens einer Manipulationsachse, auszuführen. Dabei
10 werden mindestens zu zwei Projektionsbildern die zugehörigen Positionswerte einer
Manipulationsachse bestimmt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn es sich bei dieser
Manipulationsachse um eine Translationsachse handelt. Des Weiteren ist es besonders
vorteilhaft, wenn die Bestimmung der Positionswerte der Manipulationsachse nicht nur für
zwei Projektionsbilder, sondern für mehr als zwei Projektionsbilder, in besonders
15 vorteilhafter Weise für alle Projektionsbilder geschieht. Die Positionswerte können dabei
beispielsweise in einer Datenverarbeitungseinheit gespeichert werden.

Im Folgenden sei eine beispielhafte Ausgleichsrechnung zur Bestimmung der
Kalibrierparameter beschrieben.

20 Es werden Anfangswerte für die in der Ausgleichsrechnung zu bestimmenden
Kalibrierparameter der Messeinrichtung, also beispielsweise der Abstand zwischen
Strahlungsquelle und Detektoreinheit oder der Stellung der Rotationsachse des
Drehtisches, geschätzt. Dabei kann dieser Schätzwert sehr grob geschätzt werden.
25 Zusätzlich werden Anfangswerte für die dreidimensionalen Positionen der
Kalibriermerkmale im Kalibrierobjekt geschätzt. Hierbei handelt es sich um die 3D-
Positionen der Kalibriermerkmale im Kalibrierobjekt, die nicht zu verwechseln mit den
Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale im zweidimensionalen
Bildkoordinatensystem des Projektionsbildes ist.

30 Mit Hilfe der Anfangswerte wird die Messeinrichtung zur Vermessung eines Objektes mit
invasiver Strahlung, insbesondere die Messeinrichtung zur computertomografische
Vermessung eines Messobjektes soweit simuliert, dass es möglich ist für eine
Aufnahmeposition simulierte Werte für Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale
35 in einem Projektionsbild zu erhalten. Diese simulierten Werte für die Positionen der
Projektionen der Kalibriermerkmale in einer speziellen Aufnahmesituation werden mit den
Positionen der Projektionen der Kalibrierparameter verglichen, die vorab durch eine

Auswertung der gemessenen Projektionsbilder, bestimmt wurden. Dies geschieht beispielsweise durch Differenzbildung. Diese Differenzbildung geschieht für mindestens ein Kalibriermerkmal und bevorzugt für alle auswertbaren Kalibriermerkmale und für mehr als ein zuvor aufgenommenes Projektionsbild und bevorzugt für alle zuvor aufgenommenen Projektionsbilder.

In einem Iterationsverfahren werden durch eine Variation über die Kalibrierparameter und eine Variation über die geschätzten 3D-Positionen der Kalibriermerkmale im Kalibrierobjekt die Differenzen minimiert.

Die Variation der 3D-Positionen der Kalibriermerkmale ist derart ausgestaltet, dass die relative Positionsänderung eines Kalibriermerkmals in zwei Aufnahmesituationen mit der als korrekter Maßstab angenommenen relativen Positionsänderung der Manipulationsachsen in den entsprechenden Aufnahmesituationen übereinstimmt.

Nach Abschluss des Iterationsverfahrens, werden die dann aktuell verwendeten Kalibrierparameter als Ergebnis definiert.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, dass der Maßstab für die Kalibrierparameter aus relativen Positionsänderungen zwischen verschiedenen Vermessungs-Positionen abgeleitet wird, und nicht aus bekannten Abmaßen des Kalibrierobjektes. Es ist somit nicht notwendig die Abmessungen des Kalibrierobjektes und/oder des Kalibriermerkmals zu kennen oder vorab zu bestimmen (zu kalibrieren).

Dies ist besonders vorteilhaft, da es ermöglicht wird, sehr einfach herzustellende Kalibrierobjekte zu verwenden. So ein einfaches Kalibrierobjekt kann beispielsweise ein Block aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum sein, in den mindestens ein Kalibriermerkmal, bevorzugt mehrere Kalibriermerkmale, gesteckt wurden. Als Kalibriermerkmal eignen sich dabei beispielsweise Kugeln aus Eisen oder Wolframcarbid.

Da die Abmaße des Kalibrierobjektes nicht bekannt sein müssen, kann sich dieses auch nicht zum Beispiel durch mechanische oder thermische Einflüsse dekalibrieren. Das Auftreten von Positions- und Abstandsänderungen der Kalibriermerkmale im Kalibrierobjekt in einem den Zeitraum der Kalibrierung überschreitenden Dekalibrierungszeitraum hat für die Kalibrierung daher keine Auswirkung.

Wenn ein Kalibrierobjekt zum Einsatz kommt, von dem eine Abmessung bekannt ist, kann in einer Weiterentwicklung des Verfahrens diese bekannte Abmessung dazu genutzt werden, die Ergebnisse für die Kalibrierparameter, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmt wurden, einer Überprüfung zu unterziehen.

5

In einer erweiterten vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Tatsache Rechnung getragen, dass eine spezielle Aufnahmesituation Einfluss auf die Kalibrierparameter nehmen kann.

10

In einem vereinfachten und idealisierten Aufbau sei angenommen, dass sich ein Objekt auf einer Positionierungsvorrichtung in Form einer Translationsachse befindet. Diese sei so angeordnet, dass das Objekt durch die Translationsachse in Richtung von der Strahlungsquelle zu der Detektoreinheit hin verschoben werden kann. Diese Richtung sei beispielsweise als x-Richtung definiert. Eine Positionsänderung des Objektes entlang dieser Achse hätte dann idealisierter Weise auch nur eine Positionsänderung der Kalibriermerkmale in x-Richtung zur Folge. In der Realität, kann es aber sein, dass die Translationsachse reproduzierbar nicht exakt in x-Richtung verfährt, sondern beispielsweise eine oder mehrere Krümmungen, oder andere Abweichungen aufweist. Diese Abweichungen können zum Beispiel durch Fertigungstoleranzen verursacht sein.

15

20

Als Folge erfährt ein Objekt bei einer Positionsänderung nicht nur eine Änderung in x-Richtung, sondern zum Beispiel auch in z-Richtung. Sei einer der durch das erfindungsgemäße Verfahren zu bestimmende Kalibrierparameter die z-Position der Translationsachse TZ, so liefert das erfindungsgemäße Verfahren einen festen Wert TZ, da dieser in der Ausgleichsrechnung als eine Konstante gesehen wurde. In der erweiterten vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird berücksichtigt, dass TZ nicht einen konstanten Wert annimmt, sondern seinen Wert in Abhängigkeit seiner x-Position ändert. TZ wird als Folge durch eine Modellfunktion TZ(x) beschrieben. Die Modellfunktion beschreibt somit reproduzierbare Abweichungen der Translationsachse von einer idealen Translationsachse, die bei einer Translation entlang der Translationsachse auftreten.

25

30

35

Derartige Abweichungen können nicht nur bei Translationsachsen auftreten, beispielsweise kann ein eingesetzter Drehtisch taumeln. Damit sei gemeint, dass die Normale der Drehtischoberfläche nicht wie im angenommenen Idealfall exakt in Richtung der Drehachse zeigt, sondern einen Winkel mit ihr einschließt. Ein Kalibrierparameter, der die Richtung der Drehachse in Bezug auf die Drehtischoberfläche definiert, ergibt damit nicht wie idealisiert angenommen eine Konstante, sondern lässt sich durch eine

Modellfunktion in Abhängigkeit von der aktuellen Stellung des Drehtisches, die durch den Positionswert der Drehachse (Rotationsachse) beschrieben wird, beschreiben.

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn Einflüsse aus der Beschaffenheit oder von Messungengenauigkeiten von Kalibrierobjekten dadurch minimiert werden, dass die Aufnahme von Projektionsbildern mit Kalibriermerkmalen nicht nur mit einem Kalibrierobjekt durchgeführt werden, sondern es werden Projektionsbilder mit mehreren unterschiedlichen Kalibrierobjekten aufgenommen und die Auswertung erfolgt über eine Kombination von Projektionsbildern der verschiedenen Kalibrierobjekte. Die Kalibrierobjekte können sich beispielsweise in ihrer Größe, Material, Form und/oder Anzahl, Größe, Material und/oder Form ihrer Kalibriermerkmale unterscheiden.

Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1 – Schematische Darstellung einer Messeinrichtung zur Vermessung eines Objektes, wobei die Positionierungsvorrichtung eine Rotationsachse und eine Translationsachse aufweist;

Figur 2 – Schematische Darstellung einer Messeinrichtung zur Vermessung eines Objektes, wobei die Positionierungsvorrichtung eine Rotationsachse und zwei Translationsachsen aufweist;

Figur 3 – Skizze eines beispielhaften Kalibrierobjektes;

Figur 4 – Schematischer Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 5 – Beispielhaftes Verfahren zur Bestimmung von Positionen der Projektionen von kugelförmigen Kalibriermerkmalen.

Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau einer Messeinrichtung 1 zur Vermessung eines Objektes 2 mit invasiver Strahlung, insbesondere einen Computertomographen. Die Messeinrichtung 1 hat eine Strahlungsquelle 3 eine Positionierungsvorrichtung 4 und eine Detektoreinheit 5. Die Positionierungsvorrichtung 4 hat im dargestellten Beispiel als Manipulationsachsen eine Rotationsachse, die der Drehachse der Dreheinheit 6 entspricht und eine vertikale Translationsachse 7. Die Bewegungsrichtungen sind in der Abbildung durch Pfeile angedeutet. Die Translationsachse 7 ist dazu geeignet ein Objekt 2 in verschiedenen Höhen im Strahlengang der Strahlungsquelle 3 zur Detektoreinheit 5 zu positionieren, die durch diese Bewegung resultierende relative Positionsänderung ist als dTZ angegeben. Die Dreheinheit 6 erlaubt es das Objekt 2 um die Rotationsachse der Dreheinheit 6 zu drehen, und damit eine relative Positionsänderung um dR auszuführen. Durch die Positionsänderung dR um die Rotationsachse, ist es möglich das Objekt 2 aus

verschiedenen Richtungen zu durchstrahlen. Das Objekt 2 kann dabei ein Messobjekt oder aber ein Kalibrierobjekt sein, das in einem Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern der Messeinrichtung 1 zum Einsatz kommt. Die Auswerteeinheit 8 ist dazu geeignet Daten der Detektoreinheit 5 und der Positionierungsvorrichtung 4 zu empfangen und weiterzuverarbeiten.

Ein im Objekt 2 enthaltenes Merkmal wird als Projektion auf der Detektoreinheit 5 abgebildet. Eine Positionsänderung dR und/oder dTZ mindestens einer der Manipulationsachsen führt zu einer Änderung dP der Position der Projektion des Merkmals.

Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Änderung der Position der Projektion eines Kalibriermerkmals dP als Funktion von den Kalibrierparametern, von dTZ und/oder dR berechnet. Außerdem wird ein Wert für dP aus den zugehörigen Projektionsbildern bestimmt. Anschließend werden die Kalibrierparameter solange iterativ variiert, bis die Abweichung vom berechneten dP und dem aus den Projektionsbildern bestimmten dP minimal wird.

Sei beispielsweise eine erste Aufnahmesituation mit einem ersten Positionswert $TZ1$ auf der Translationsachse 7 gegeben, und eine zweite Aufnahmesituation mit einem zweiten Positionswert $TZ2$ auf der Translationsachse 7 gegeben und die erste Position $TZ1$ der Translationsachse 7 und die zweite Position $TZ2$ der Translationsachse 7 unterscheiden sich durch eine Positionsänderung um dTZ , so können die zu erwartenden Positionen $P1$ und $P2$ der Projektionen eines Kalibriermerkmals für die entsprechenden zugehörigen Aufnahmesituationen rechnerisch simuliert werden. Es werden sozusagen theoretische Projektionsbilder berechnet. $P1$ und $P2$ unterscheiden sich dabei um einen Wert dP . Neben der rechnerischen Bestimmung von dP kann dP auch aus den aufgenommenen Projektionsbildern bestimmt werden. Sind die Werte für die Kalibrierparameter der Messeinrichtung 1 korrekt angenommen, so stimmen das berechnete dP und das aus den Aufnahmen bestimmte dP überein. Ist dies nicht der Fall, so werden die Kalibrierparameter der Messeinrichtung 1 solange variiert, bis eine möglichst gute Übereinstimmung erreicht ist. Eine möglichst gute Übereinstimmung ist beispielsweise erreicht, wenn die Differenz aus berechnetem dP und dem aus den Aufnahmen bestimmten dP einen vorher definierten Wert unterschreitet.

Figur 2 zeigt einen schematischen Aufbau einer anderen Ausführungsform der Messeinrichtung 1 zur Vermessung eines Objektes 2 mit invasiver Strahlung, insbesondere einen

Computertomographen. Im dargestellten Beispiel hat die Positionierungsvorrichtung 4 zwei Translationsachsen 7 und 9. Die Translationsachse 7 ist dafür vorgesehen das Objekt 2 entlang der Rotationsachse der Dreheinheit 6 zu verschieben, eine weitere Translationsachse 9 dient dazu das Objekt 2 in Strahlrichtung zu verschieben. Eine Positionsänderung entlang der Translationsachse 9 sei als dTX angegeben. Analog zur Beschreibung von Figur 1 ist es bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich die Änderung der projizierten Position eines Kalibriermerkmals dP als Funktion von den Kalibrierparametern und von dTZ und/oder dTX und/oder dR zu berechnen.

Figur 3 zeigt eine beispielhafte Ausführungsform eines Kalibrierobjekts 10, wie es zum Beispiel bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Einsatz kommen kann. Bei dem Kalibrierobjekt 10 kann es sich beispielsweise um ein einfaches Kalibrierobjekt 10 handeln, das einen Materialkörper M, bestehend aus einem ersten Material einer Dichte DM, sowie mindestens ein Kalibriermerkmal K, bestehend aus einem zweiten Material der Dichte DK, hat, wobei die Dichte DK größer ist, als die Dichte DM. Das Kalibriermerkmal K kann sich ganz oder teilweise im Inneren des Materialkörpers M befinden. Bevorzugt werden i Kalibriermerkmale Ki verwendet, wobei der Index i eine natürliche Zahl größer 1 ist. Für alle Kalibriermerkmale Ki gilt, dass die Dichte DKi größer als die Dichte DM des Materialkörpers ist. Im dargestellten Beispiel ist i=4. Die Kalibriermerkmale Ki können dabei von unterschiedlicher Form, Größe oder Material sein und sich ganz oder teilweise im Inneren des Materialkörpers M befinden. Ihre Anordnung kann dabei willkürlich gewählt sein, da ihre Abmaße und Positionen zueinander für die Durchführung des Verfahrens nicht bekannt sein müssen, dennoch ist auch die Verwendung von Kalibrierobjekten mit geordneten Strukturen möglich.

In Figur 4 ist schematisch der Ablauf eines beispielhaften, erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung 1 zur Vermessung eines Objektes 2 mit invasiver Strahlung, insbesondere einer Messeinrichtung 1 zur computer-tomografischen Vermessung eines Messobjektes 2, dargestellt. Bei der Messeinrichtung 1 kann es sich beispielsweise um eine Messeinrichtung 1 handeln, wie sie in Figur 1 oder Figur 2 dargestellt ist.

Im ersten Schritt a) wird ein Kalibrierobjekt 2 derart in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle 3 und der Detektoreinheit 5 mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung 4 positioniert, dass ein mit der Detektoreinheit 5 aufgenommenes Projektionsbild mindestens einen Teil des Kalibrierobjektes 2 und der Kalibriermerkmale des Kalibrierobjektes 2 enthält.

In Schritt b) wird ein Projektionsbild des Kalibrierobjektes 2 inklusive der im Kalibrierobjekt enthaltenen Kalibriermerkmale in einer mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung 4 erfolgten Positionierung aufgenommen. Die Positionierung kann anhand von Positionswerten der Manipulationsachsen 6,7,9 beschrieben werden.

In Schritt c) werden die Positionswerte mindestens einer der Manipulationsachsen erfasst. Die Bestimmung der Positionswerte einer Manipulationsachse 6,7,9 kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass ein Positionswert der Manipulationsachse 6,7,9 ausgelesen wird.

Vor einer weiteren Aufnahme wird die Positionierung des Kalibrierobjektes mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung 4 dadurch geändert, dass eine oder mehrere Manipulationsachsen 6,7,9 ihre Position ändern. Nach der erfolgten Positionierungsänderung des Kalibrierobjektes im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle 3 und der Detektoreinheit 5 wird erneut ein Projektionsbild aufgenommen, und beispielsweise für die weitere Auswertung in einer Auswerteeinheit 8 gespeichert.

Die Schritte b) und c) können beliebig häufig, aber mindestens zweimal, ausgeführt werden, das heißt, es erfolgen zu beliebig vielen, aber mindestens zwei, unterschiedlichen Positionierungen des Kalibrierobjektes Bildaufnahmen von Projektionsbildern und zu mindestens zwei dieser Positionierungen, in denen eine Aufnahme von Projektionsbildern erfolgt, werden die Positionswerte mindestens einer der Manipulationsachsen bestimmt. Weitere Positionierungen in denen eine Aufnahme von Projektionsbildern erfolgt, aber keine Bestimmung der Positionswerte der Manipulationsachsen durchgeführt wird, sind denkbar. Vorteilhafterweise werden für jede der in Schritt b) eingenommenen Aufnahmepositionen die jeweiligen Positionswerte der Manipulationsachsen 6,7,9 in Schritt c) bestimmt, und beispielsweise in einer Auswerteeinheit 8, die beispielsweise eine Datenverarbeitungseinheit sein kann, gespeichert.

In Schritt d) erfolgt eine Bestimmung der Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale des Kalibrierobjekts in mindestens zwei der in Schritt b) verwendeten Positionierungen, für die die Positionswerte mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung 4 in Schritt c) bestimmt wurden.

Die Bestimmung der projizierten Position des Kalibriermerkmals, in diesem Beispiel des Kugelmittelpunktes erfolgt für mindestens zwei, bevorzugt alle aufgenommenen

Projektionsbilder und für mindestens eine, bevorzugt alle darin abgebildeten Ellipsen. Die bestimmten projizierten Positionen der Kugelmittelpunkte fließen in die anschließende Ausgleichsrechnung ein.

5 Auf die strikte Abfolge der Schritte a) bis d) kommt es nicht an. Sie können nacheinander, überlappend verschachtelt, gleichzeitig oder in anderer Reihenfolge ausgeführt werden, sofern das Ziel erreicht wird, in verschiedenen Positionierungen Projektionsbilder des Kalibrierobjektes aufzunehmen und für mindestens zwei voneinander unterschiedliche Positionierungen zugehörige Positionswerte zu bestimmen.

10 In Schritt e) erfolgt die Bestimmung von Kalibrierparametern mit mindestens einer sich aus den Positionswerten für die unterschiedlichen Positionierungen ergebenden Positionsänderung mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung 4 als Maßstab und mit den zugehörigen Positionen der Projektionen der Kalibriermerkmale des Objektes.

15 Die Figuren 5a bis 5d veranschaulichen schematisch ein beispielhaftes, nicht einschränkend zu verstehendes, und besonders vorteilhaftes Verfahren zur Bestimmung der Position der Projektion von kugelförmigen Kalibriermerkmalen.

20 Zur Bestimmung der Position der Projektion des Kugelmittelpunktes werden dazu iterativ die Ellipsenparameter, wie zum Beispiel die Position, Radien und Orientierung, der projizierten Ellipsen 11 bestimmt. Mit Hilfe dieser Ellipsenparameter werden dann die Werte für die Position der Projektion des Kalibriermerkmals berechnet.

25 Figur 5a zeigt schematisch und beispielhaft eine durch Projektion eines kugelförmigen Kalibriermerkmals im Projektionsbild entstehende Ellipse 11 (gemessene Ellipse). Zum Start des Iterationsverfahrens werden sogenannte Startwerte für die Position und die weiteren Parameter der Ellipse angenommen und darauf basierend rechnerisch eine Modell-Ellipse 12 erstellt. In einem definierten Analyse-Bereich 13 erfolgt sodann ein Vergleich von gemessener Ellipse 11 und berechneter Ellipse 12. Der Analyse-Bereich 13 kann dabei nur Teile des Projektionsbildes, oder auch das gesamte Projektionsbild umfassen. Zur Ausführung des Vergleiches wird mithilfe einer Differenzfunktion eine Differenz von Modell-Ellipse 12 und zugehöriger aufgenommener Ellipse 11 bestimmt.

30 Die resultierende Differenz ist in Figur 5b beispielhaft in Form eines Differenzbildes 14 dargestellt. Bildteile, die sich innerhalb der gemessenen Ellipse 11, aber außerhalb der berechneten Ellipse 12, und Bildteile, die sich außerhalb der gemessenen Ellipse 11, aber

35

innerhalb der berechneten Ellipse 12, befinden sind schwarz dargestellt. Bildteile, die sich sowohl innerhalb der gemessenen Ellipse 11, wie auch innerhalb der berechneten Ellipse 12 befinden, sind weiß dargestellt. Ebenso sind Bildteile, die sich sowohl außerhalb der gemessenen Ellipse 11, wie auch außerhalb der berechneten Ellipse 12 befinden weiß dargestellt.

In einem iterativen Prozess werden die Werte für die Position und die weiteren Parameter der Modell-Ellipse 12 solange variiert, bis die sich bildende Differenz von berechneter Modell-Ellipse 12, und gemessener Ellipse 11 einen minimalen Wert annimmt.

Figur 5c und Figur 5d zeigen ein Beispiel für eine berechnete Ellipse 12' und ein zugehöriges Differenzbild 14', wie es sich im weiteren Verlauf des Iterationsverfahrens ergeben könnte.

Die berechnete Ellipse 12' weist eine geringere Abweichung zur gemessenen Ellipse 11 auf, als die in Figur 5a dargestellte Ellipse 12. Dies wird durch eine kleinere schwarze Fläche im Differenzbild 14' veranschaulicht.

Wenn gemessene Ellipse 11 und berechnete Ellipse 12, 12' gleich sind, so wäre das entstehende Differenzbild 14, 14' in der hier schematisch gewählten Darstellung komplett weiß, und die zur Berechnung der Ellipse 12, 12' angenommen Ellipsenparameter entsprächen den Ellipsenparametern der projizierten Ellipse 11.

Vorteilhaft ist es, wenn das Iterationsverfahren beendet wird, wenn die Differenz von gemessene Ellipse 11 und berechneter Ellipse 12, 12' einen anhand der gewünschten Genauigkeit gewählten Grenzwert unterschreitet.

Patentansprüche

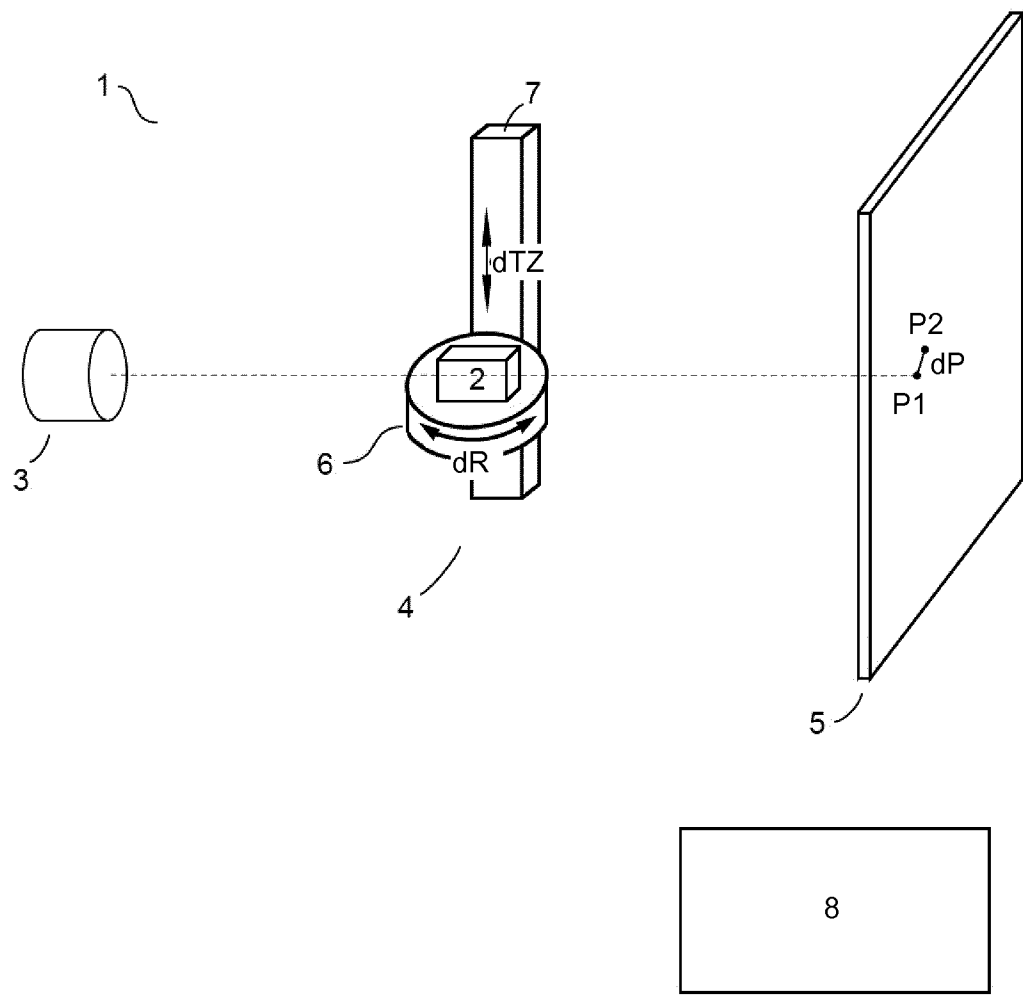
1. Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung (1) zur Vermessung eines Objektes (2) mit invasiver Strahlung, insbesondere einer Messeinrichtung (1) zur computertomografischen Vermessung eines Objektes (2), die eine Strahlungsquelle (3), eine Detektoreinheit (5) und eine Positionierungsvorrichtung (4) zur Aufnahme und Positionierung eines Objektes (2) im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) hat, mit den Schritten:
 - a) Platzieren eines Kalibrierobjekts (2, 10) in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung (4),
 - b) Aufnehmen von Projektionsbildern des Kalibrierobjekts (2, 10) in mindestens zwei voneinander unterschiedlichen Positionierungen,**gekennzeichnet durch**
 - c) Bestimmen von Positionswerten mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) in mindestens zwei der im Schritt b) verwendeten, voneinander unterschiedlichen Positionierungen,
 - d) Bestimmen von Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Kalibrierobjekts in mindestens zwei der im Schritt c) verwendeten, voneinander unterschiedlichen Positionierungen,
 - e) Bestimmen von Kalibrierparametern mit mindestens einer sich aus den Positionswerten für die voneinander unterschiedlichen Positionierungen ergebende Positionsänderung mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) als Maßstab und mit den zugehörigen Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Objektes.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Manipulationsachse (6, 7, 9), deren Positionsänderung bestimmt wird, eine Translationsachse (7, 9) ist.
3. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Manipulationsachse (6, 7, 9) eine Rotationsachse (6) ist.

4. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, wobei die Kalibrierparameter mittels einer Modellfunktion in Abhängigkeit der in Schritt c) bestimmten Positionswerte einer Manipulationsachse (6, 7, 9) beschrieben werden.
5. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, bei dem zusätzlich mindestens eine Abmessung im Kalibrierobjekt (2, 10) bekannt ist und dafür genutzt wird, die Korrektheit der bestimmten Kalibrierparameter zu überprüfen.
6. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte a) bis d) mit mehr als einem Kalibrierobjekt (2, 10) durchgeführt werden, wobei sich die verwendeten Kalibrierobjekte (2, 10) voneinander unterscheiden, und in Schritt e) eine kombinierte Auswertung über die erhobenen Daten der verschiedenen Kalibrierobjekte (2, 10) erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Kalibriermerkmal des verwendeten Kalibrierobjektes (2, 10) kugelförmig ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswertung die Bestimmung der Position der Projektion des Kalibriermerkmals, derart erfolgt, dass
 - Startwerte für Ellipsenparameter für die durch Projektion eines kugelförmigen Kalibriermerkmals im Projektionsbild auftretende Ellipse (11) im Bildkoordinatensystem geschätzt werden und mit diesen Startwerten eine zugehörige Modell-Ellipse (12) rechnerisch modelliert wird,
 - eine Differenz zwischen Modell-Ellipse (12, 12') und aufgenommener Ellipse (11) für Bereiche (13) der Ellipse bestimmt wird,
 - in einem Iterationsverfahren die Ellipsenparameter solange variiert werden, bis die sich bildenden Differenzen minimiert sind und
 - aus den Ellipsenparametern die Position der Projektion des Kalibriermerkmals bestimmt wird.
9. Computerprogramm mit Programmcodemitteln zur Bestimmung von Kalibrierparametern einer Messeinrichtung (1) zur Vermessung eines Objektes (2) mit invasiver Strahlung, insbesondere eine Messeinrichtung (1) zur computertomografischen Vermessung eines Messobjektes (2), die eine Strahlungsquelle (3), eine Detektoreinheit (5) und eine Positionierungsvorrichtung (4) zur Aufnahme und Positionierung eines Objektes (2) im Strahlengang zwischen

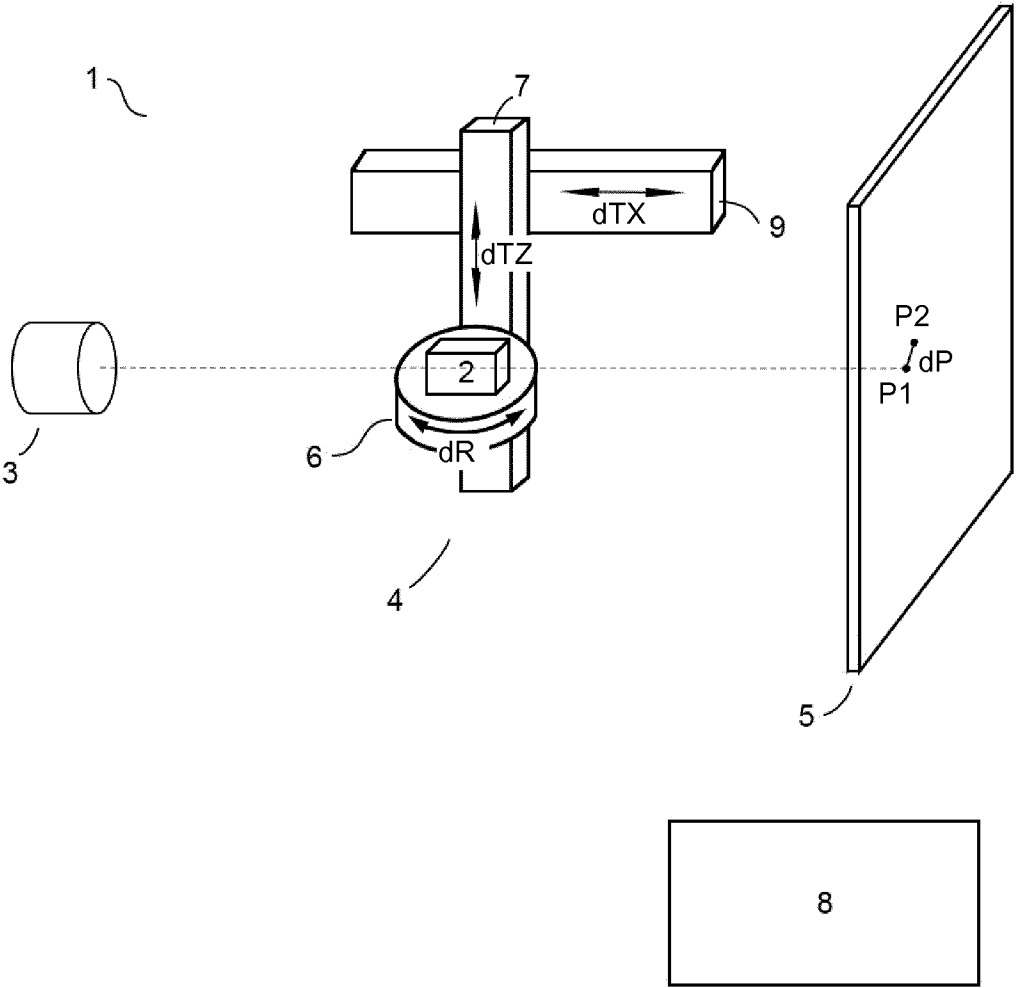
der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) hat, wobei die Programmcodemittel zur Bestimmung der Kalibrierparameter mit dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche in Abhängigkeit von den Ergebnissen einer Vermessung vom mittels der Strahlungsquelle (3) durchstrahlten Kalibrierobjektes (2, 10) und in Abhängigkeit der Bestimmung von Positionswerten mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) eingerichtet sind, wenn die Programmcodemittel auf einer Datenverarbeitungseinheit ausgeführt werden.

10. Messeinrichtung (1) zur Vermessung eines Messobjektes (2) mit invasiver Strahlung, insbesondere einer Messeinrichtung (1) zur computertomografischen Vermessung eines Objektes (2), mit einer Strahlungsquelle (3), einer Detektoreinheit (5), einer Positionierungsvorrichtung (4) zur Aufnahme und Positionierung eines Objektes (2) im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) und mit einer Auswerteeinheit (8), dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (8) zur Bestimmung von Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Kalibrierobjekts für Positionswerte mindestens einer Manipulationsachse der Positionierungsvorrichtung in mindestens zwei Positionierungen eines in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung (4) platzierten Kalibrierobjekts (2, 10) aus Projektionsbildern des Kalibrierobjektes, die in den mindestens zwei voneinander unterschiedlichen Positionierungen aufgenommen sind, und zur Bestimmung von Kalibrierparametern mit mindestens einer sich aus den Positionswerten für die unterschiedlichen Positionierungen ergebenden Positionsänderung mindestens einer Manipulationsachse (6, 7, 9) der Positionierungsvorrichtung (4) als Maßstab und mit den zugehörigen Positionen der Projektionen von mindestens einem Kalibriermerkmal des Objektes eingerichtet ist.
11. Kalibrierobjekt (10) für die Verwendung in dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Kalibrierobjekt (10) einen aus einem ersten Material einer ersten Dichte gebildeten Materialkörper (M) und mindestens ein aus einem zweiten Material mit einer zweiten Dichte gebildetes Kalibriermerkmal(Ki) hat, wobei die Kalibriermerkmale (Ki) mit dem Materialkörper (M) verbunden und nur über den gemeinsamen Materialkörper (M) lagefixiert zueinander sind.

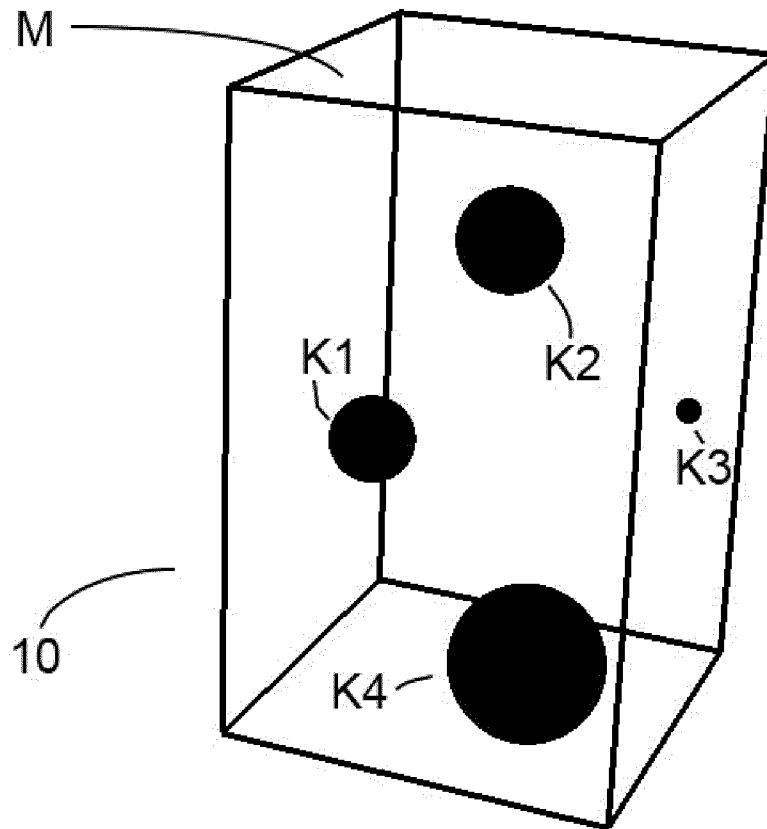
12. Kalibrierobjekt (10) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibriermerkmale (Ki) Kugeln sind.



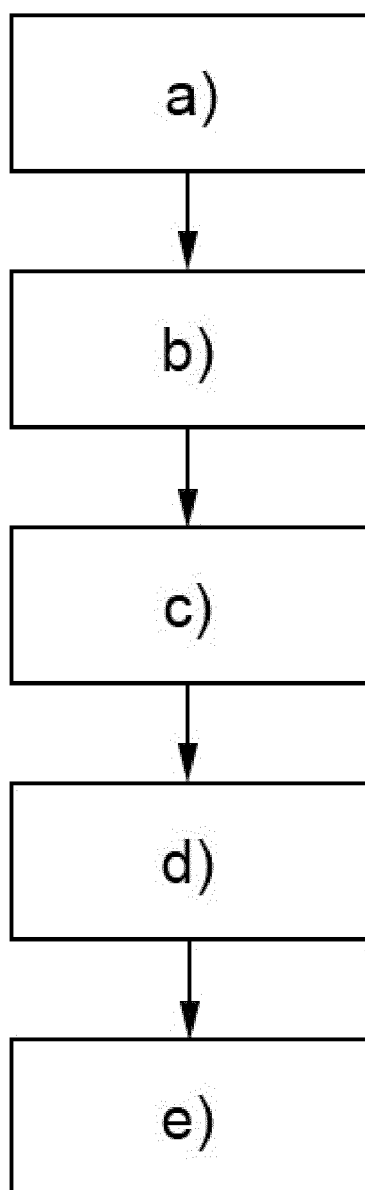
Figur 1



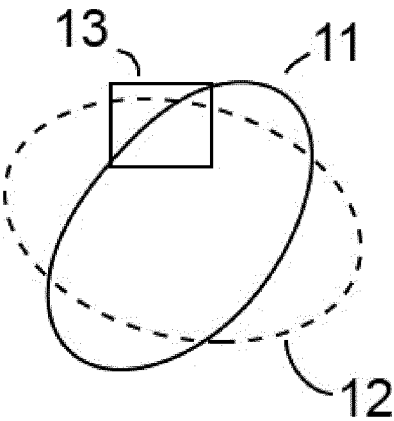
Figur 2



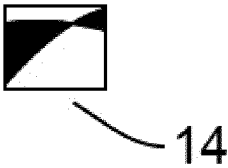
Figur 3



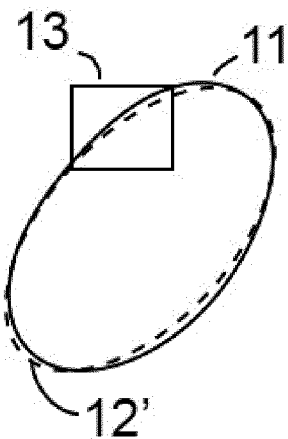
Figur 4



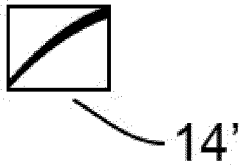
Figur 5a



Figur 5b



Figur 5c



Figur 5d

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/052357

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 23/04**(2018.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102008044437 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 31 December 2009 (2009-12-31) paragraph [0022] - paragraph [0024] figure 1	1-10
X	WO 2012152809 A2 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; JOBST ANDREAS [DE] ET AL.) 15 November 2012 (2012-11-15) page 15, line 24 - page 16, line 37 figure 1	1-10
A	DE 102010050949 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH CARL) 10 May 2012 (2012-05-10) paragraph [0052] - paragraph [0057] paragraph [0066] figures 2,3	1-11
X	US 2005094771 A1 (BASU SAMIT K [US] ET AL) 05 May 2005 (2005-05-05) paragraph [0009] - paragraph [0011] figures 3-6	11,12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 May 2019

Date of mailing of the international search report

31 May 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Baranski, Jörg

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/052357

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2017074808 A1 (BERNARD GUILLAUME [FR] ET AL) 16 March 2017 (2017-03-16) paragraph [0050] - paragraph [0052] figure 1	11,12
X	Marko Neukamm ET AL. "Untersuchung der geometrischen Eigenschaften industrieller CT mit Hilfe eines neuartigen Prüfkörpers und den Methoden der Photogrammetrie" 2010, Retrieved from the Internet: https://www.ndt.net/article/dgzfp2010/Inhalt/di2a2.pdf [retrieved on 2019-05-02] XP055585156 page 3, paragraph 4 - page 5, paragraph 5	11,12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/052357

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102008044437	A1	31 December 2009	NONE	
WO	2012152809	A2	15 November 2012	DE 102011075527 A1	15 November 2012
				EP 2706918 A2	19 March 2014
				EP 2977009 A2	27 January 2016
				US 2014064458 A1	06 March 2014
				US 2016363676 A1	15 December 2016
				WO 2012152809 A2	15 November 2012
DE	102010050949	A1	10 May 2012	DE 102010050949 A1	10 May 2012
				EP 2637564 A1	18 September 2013
				US 2013230150 A1	05 September 2013
				WO 2012062543 A1	18 May 2012
US	2005094771	A1	05 May 2005	NONE	
US	2017074808	A1	16 March 2017	EP 3141187 A1	15 March 2017
				ES 2649216 T3	10 January 2018
				FR 3040867 A1	17 March 2017
				JP 2017053856 A	16 March 2017
				US 2017074808 A1	16 March 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01N23/04
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2008 044437 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 31. Dezember 2009 (2009-12-31) Absatz [0022] - Absatz [0024] Abbildung 1	1-10
X	----- WO 2012/152809 A2 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; JOBST ANDREAS [DE] ET AL.) 15. November 2012 (2012-11-15) Seite 15, Zeile 24 - Seite 16, Zeile 37 Abbildung 1	1-10
A	----- DE 10 2010 050949 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH CARL) 10. Mai 2012 (2012-05-10) Absatz [0052] - Absatz [0057] Absatz [0066] Abbildungen 2,3 ----- -/-	1-11

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Mai 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/05/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Baranski, Jörg

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/094771 A1 (BASU SAMIT K [US] ET AL) 5. Mai 2005 (2005-05-05) Absatz [0009] - Absatz [0011] Abbildungen 3-6 -----	11,12
X	US 2017/074808 A1 (BERNARD GUILLAUME [FR] ET AL) 16. März 2017 (2017-03-16) Absatz [0050] - Absatz [0052] Abbildung 1 -----	11,12
X	Marko Neukamm ET AL: "Untersuchung der geometrischen Eigenschaften industrieller CT mit Hilfe eines neuartigen Prüfkörpers und den Methoden der Photogrammetrie", 2010, XP055585156, Gefunden im Internet: URL: https://www.ndt.net/article/dgzfp2010/Inhalt/di2a2.pdf [gefunden am 2019-05-02] Seite 3, Absatz 4 - Seite 5, Absatz 5 -----	11,12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/052357

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008044437 A1	31-12-2009	KEINE	
WO 2012152809 A2	15-11-2012	DE 102011075527 A1	15-11-2012
		EP 2706918 A2	19-03-2014
		EP 2977009 A2	27-01-2016
		US 2014064458 A1	06-03-2014
		US 2016363676 A1	15-12-2016
		WO 2012152809 A2	15-11-2012
DE 102010050949 A1	10-05-2012	DE 102010050949 A1	10-05-2012
		EP 2637564 A1	18-09-2013
		US 2013230150 A1	05-09-2013
		WO 2012062543 A1	18-05-2012
US 2005094771 A1	05-05-2005	KEINE	
US 2017074808 A1	16-03-2017	EP 3141187 A1	15-03-2017
		ES 2649216 T3	10-01-2018
		FR 3040867 A1	17-03-2017
		JP 2017053856 A	16-03-2017
		US 2017074808 A1	16-03-2017